

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-210653

(43) 公開日 平成9年(1997) 8月12日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 B 11/26

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 B 11/26

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数13 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平8-38795

(22) 出願日

平成8年(1996) 1月31日

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

(72) 発明者 塚田 敏彦

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 水野 守倫

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

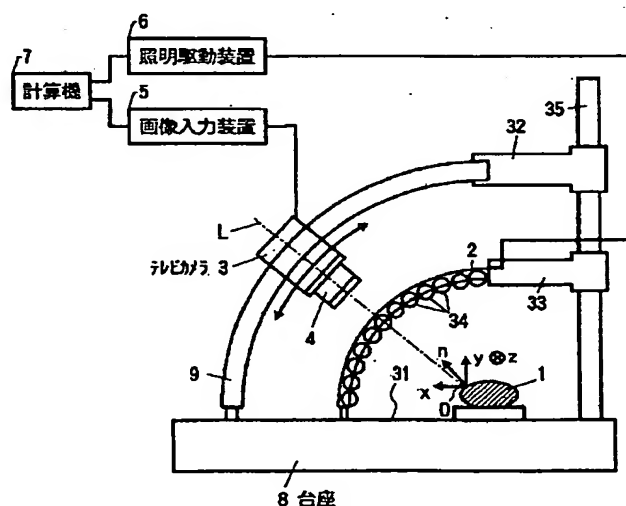
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面方向検出装置

(57) 【要約】

【課題】対象物の面方向の測定に際し測定角度範囲を拡大すること。

【解決手段】1は測定対象物、2はLEDを一直線上に並べたLED照明装置、3は反射光強度を検出するテレビカメラである。LED照明装置3は1軸x方向に沿って発光強度が単調に増加する第1発光パターンと単調に減少する第2発光パターンとで発光可能であり、その発光強度比は $1/A$ からAの範囲で単調に増加するように設定されている。テレビカメラ3はガイドレール9の任意の位置で固定できる。テレビカメラ3により光軸L方向の反射光が検出されその反射光の第1発光パターンの受光強度と第2発光パターンの受光強度との比が計算機7で演算される。この強度比から反射光はLED照明装置3のどの位置から発射された光かを特定することができる。この位置とテレビカメラ3の位置とにより面の方向を測定することが可能である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光部からの光線の物理量をその発光部における位置に対して相互に一对一の対応関係で分布させた光線を対象物に対して照射する照明手段と、前記照明手段の前記発光部のある位置から対象物に照射された入射光線の対象物からの反射光線の前記物理量を測定する測定手段と、前記測定手段を、前記照明手段により照射された入射光線の対象物からの反射光線を検出可能な異なる複数の位置に設定する設定手段と、前記測定手段により測定された反射光線の前記物理量から、前記反射光線に対応する前記入射光線の前記発光部上の放射位置を求め、さらに、前記設定手段により設定された前記測定手段の位置を求め、その放射位置と測定手段の位置に基づいて、前記対象物の面方向を求める演算手段と、  
からなる面方向検出装置。

【請求項 2】 前記設定手段は、前記測定手段を前記複数の位置に移動できる手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 3】 前記設定手段は、前記複数の位置に前記測定手段を、それぞれ、設定する手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 4】 前記測定手段の前記複数の位置は、前記対象物の面方向の測定対象範囲に対して連続して分割された各範囲の面方向が測定可能な位置であることを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 5】 前記照明手段の前記発光部の各発光点は直線状又は円弧状に配列されていることを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 6】 前記照明手段の各発光点の各光軸により形成される面は  $1/4$  円となるように、各発光点が配列されていることを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 7】 前記発光部の発光強度の発光部における位置による分布を 2 通りのパターンに変化でき、前記位置に関する前記位置毎の 2 通りの発光強度の比を前記物理量としたことを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 8】 前記物理量を発光波長としたことを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 9】 前記物理量を発光強度としたことを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 10】 前記物理量を発光時間としたことを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 11】 前記物理量を発光周期としたことを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 12】 前記物理量をデューティ比としたことを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

【請求項 13】 前記物理量を発光タイミングとしたこ

とを特徴とする請求項 1 に記載の面方向検出装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鏡面における光の正反射の性質を利用して鏡面の面方向を測定する装置に関する。

【0002】

【従来技術】鏡面での光の正反射の性質を利用して鏡面の面方向を検出する方法は、対象物からの反射光が複数の位置に設けられた光源のうちの何れかの光源からの光に対応しているかを判定し、正反射では入射角と反射角が等しいことを利用して、その光源の位置と反射光をとらえた位置との関係により、反射面の面方向を求めるものである。

【0003】この技術に関連して、本出願人は反射面での反射率の相違や光源の光度の不均一性を補償するために、光源を、光線強度の光源位置の関数がそれぞれ異なる 2 つのパターンで発光可能とし、2 つのパターンの光線の強度比を光源の位置に対して相互に一对一に対応させて、受光光線の強度比から光源の位置を特定し、その位置から対象物の面方向を決定するようにした技術を出願した（特願平 6 - 3 0 5 6 0 2 号）。

【0004】しかし、その技術においては、照明手段と測定手段との相対的位置関係は固定されており、測定可能な面方向の角度範囲は、照明手段の対象物を見る角及びその位置と、測定手段との位置との関係で決定され、角度範囲の幅も照明手段の対象物を見る角の  $1/2$  に限定されており、照明手段の光軸の角度範囲が有効に利用されていないという問題がある。また、照明手段の光軸の角度範囲の存在位置も測定する対象物によっては、必ずしも、任意の角度範囲に設けられる訳ではない。そのため、検出可能範囲を越えて、対象物の持つ面方向の角度範囲が変わる場合には、他の相対位置関係をもつ照明手段と測定手段を準備する必要があり、装置規模が大きくなるという問題点がある。

【0005】また、測定できる対象物の面方向の角度範囲を広げる方法として、照明手段の発光点の分布を広くする方法がある。発光部の発光点の分布を広くする方法として発光光源の大きさを大きくする方法と、発光光源の点数を多くする方法とがある。前者の方法により発光部の発光点の分布を広くした場合、測定できる面方向の角度範囲は広がるが、より広い範囲の角度に対して同一の個数の光源で角度を決めるため、角度の測定分解能は低下する。また、後者の方法を用いた場合には、発光光源の点数が増えるため、角度の測定精度を保つためには、測定手段にどの光源からの反射光が入射したかを特定するための方法として、反射光強度比、反射光強度、波長の何れを用いる場合にも、照明手段の明るさの範囲または、波長範囲を広げ、測定手段により検出できる明るさの範囲（ダイナミックレンジ）または、波長の

範囲を広げる必要がある。このために、装置が複雑なものとなるといった問題点がある。

【0006】一方、照明手段と測定手段の明るさの範囲と波長の範囲を広げること無く、発光光源の点数を増やして発光部の発光位置の分布を広げた場合には、発光光源間での明るさの差または波長の差が小さくなる。これにより、測定手段でこれを分離して検出する精度が下がるために、角度の測定精度が低下するといった問題点がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、対象物の面方向の測定に際し、測定角度範囲を拡大し、装置構成を簡略化し、検出精度を向上させることである。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明によれば、照明手段は、発光部から発光する光線の物理量が発光部の位置に対して相互に一对一に対応した位置の関数である光線を発光することが可能である。この一对一の対応関係とは、異なる物理量に対して異なる位置が一意的に対応し、異なる位置に対して異なる物理量が一意的に対応するという意味である。これにより、対象物の任意点における光線の入射角と光線の物理量とは相互に一对一の対応関係になる。

【0009】この照明手段によりこの光線は対象物に照射され、その反射光が測定手段に入射して、その反射光線の物理量が測定される。この測定手段は、対象物の同一反射位置に対しては、発光部のある1点から発光された光線に対応する反射光線のみを受光できるように調整されている。鏡面の対象物の反射点においては入射角と反射角とが等しい。対象物のある点で反射された反射光のうち測定手段に入射する反射光は、発光部の対応した位置から発光した光線となる。光線の物理量と発光位置とは相互に一对一の関数で決定されているので、測定手段で反射光の物理量を検出すれば、その物理量からその反射光は照明手段の発光部のどの位置から発光されたものかを特定することができる。

【0010】この時、対象物の面方位と測定手段との位置関係によっては、測定手段に反射光が入射しないことがあるので、設定手段により、測定手段は反射光を入射できる異なる複数の位置に設定される。次に、演算手段により、照明手段の発光部における発光点の位置、対象物の反射点、複数の位置における測定手段の光軸角度から対象物の面方位が決定される。

【0011】本発明では、光線の物理量を検出することで、対象物の面方位が測定でき、しかも、設定手段により、測定手段は異なる複数の位置に設定されるので、所望の広い角度範囲で面方位が分布する対象物であっても、照明手段により照射された入射光線の反射光線の検出が何れかの位置で可能となる。よって、対象物の面方

向の広い範囲に渡って測定が可能となる。

【0012】請求項2の発明は、設定手段を測定手段が複数の位置に移動できる手段としたので、単一の測定手段で済むので、装置構成が簡単となる。請求項3の発明は、設定手段を複数の位置に複数の測定手段を設定する手段としたので、一度の測定により広い範囲の面方位分布を求めることができる。よって、測定速度が向上する。請求項4の発明は、測定手段の設定される複数の位置を、対象物の面方向の測定対象範囲に対して連続して分割された各範囲の面方向が測定可能な位置としたので、広い連続した角度範囲に面方位が分布する時でも、精度良くその面方位分布を測定することが可能となる。

【0013】請求項5の発明は、照明手段の発光部の各発光点は直線状又は円弧状に配列したので、法線ベクトルがある平面に存在するような場合の対象物の面方位の分布を求めることができ、装置構成が簡単となる。請求項6の発明は、照明手段の各発光点の各光軸により形成される面を1/4円となるように、各発光点を配列したので、測定手段の1つの位置において、45度の範囲の面方位が検出可能となり、測定手段を2つの位置に設定して、測定すれば、全体として、90度の範囲の面方位の検出が可能となる。このような構成により、簡単な構造で、水平方向から垂直方向の範囲に法線ベクトルが存在する面方位の分布を測定することができる。

【0014】請求項7の発明は、発光部の発光強度の発光部における位置による分布を2通りのパターンに変化でき、位置に関する位置毎の2通りの発光強度の比を光線の物理量としたことを特徴とする。この光線の発光強度比は発光点の位置に関して相互に一对一の対応がある位置の関数である。対象物に第1パターンで照明する。対象物からの反射光強度が測定手段によって測定される。このときの反射光強度の測定値をS1とする。同様に、第2パターンにより対象物に光を照射し、その反射光の強度を測定する。このときの反射光強度の測定値をS2とする。そして、上記の反射光強度の比S1/S2を求め、発光面の発光強度において、第1パターンと第2パターンとで、発光強度の比がS1/S2に最も近い発光部の発光点の位置が演算される。そして、その発光点の位置における対象物への入射光の光軸と、測定手段の検出する反射光の光軸との関係から、対象物の反射面の方向が演算される。

【0015】以上のように、照明の発光強度パターンを2通りに変化させて対象物に照射し、その対象物からの反射光の強度の比を測定することで面方向の測定が可能となるので、測定時間の短縮ができる効果がある。また、反射光強度の比を利用するので、対象物の面の反射率の影響や、照明手段の光源の発光強度の絶対的な変化に影響されることなく面方向が検出できる。又、第1パターンと第2パターンとにおいて、発光部上の発光強度比を発光点の位置に関して相互に一对一の対応関係があ

る関数で分布させたので、ほぼ様な明るさの面光源の反射光強度で規格化する従来方法に比べ、ダイナミックレンジが広がり、精度良く発光点が決定でき、面方向の検出精度が向上する。

【0016】請求項8の発明は、物理量を発光波長としたことを特徴とする。この発光波長と発光点の位置との関係が相互に一对一の対応関係で決定されている。測定手段により反射光の波長を測定することで、発光点の位置を決定することができ、上述したように、測定手段の光軸角度、対象物の反射点の位置、発光部における発光点の位置との関係から対象物の反射点における面方位を決定することができる。このように、各種の発光波長を有する光を一度に照射して、反射光の波長を測定しているので、測定時間の短縮が可能である。又、波長を利用しているので、対象物の面の反射率の影響や、照明手段の光源の発光強度の絶対的な変化に影響されることなく面方向が検出できる。

【0017】請求項9の発明は物理量を発光強度としてしているので、測定時間の短縮が図れる。又、請求項10の発明は物理量を発光時間とし、請求項11の発明は物理量を発光周期とし、請求項12の発明は物理量をデューティ比とし、請求項13の発明は物理量を発光タイミングとしているので、測定時間の短縮が図られると共に、照明手段による発光強度の変化や対象物の反射率による影響を排除することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】

### 第1実施例

本発明の第1実施例を図1に示す。この装置は、法線ベクトル $n$ が図面紙面上の $xy$ 平面上に存在する面の面方向を測定するものである。台座8は $xz$ 面に平行な設置面31を有し、その設置面31の上に面方位を測定しようとする対象物1が載置されている。台座8には、照明装置2と設定手段であるガイドレール9が支柱35とそれに支持されたバー32、33により支持されて配設されている。照明装置2は、多数のLED（発光ダイオード）34を連続して90度の角度範囲で円弧状に配置したものであり、照明駆動装置6によって駆動される。

【0019】ガイドレール9は照明装置2と平行に90度の円弧状に形成されており、このガイドレール9上に測定手段であるテレビカメラ3が移動可能に配設されている。テレビカメラ3をガイドレール9に沿って移動することで、その光軸 $L$ の $xy$ 面上への射影を $-x$ 軸方向から $-y$ 軸方向へ90度の範囲で変化させることが可能である。テレビカメラ3はレンズ4を有し、照明装置2で照明された対象物1からの反射光の強度分布を検出する。テレビカメラ3から出力される映像信号は画像入力装置5に入力して、デジタル化され、濃淡画像が生成され記憶される。その濃淡画像は、演算手段である計算機7に入力され、後述する処理により対象物1の面方位

が演算される。又、照明駆動装置6はこの計算機7により駆動タイミングや駆動モードが指令され、照明装置2を指令されたモードで駆動する。

【0020】図2、図3に、照明装置2とテレビカメラ3の位置関係を示す。 $xy$ 平面である平面 $P$ は対象物1の表面にある測定領域 $q$ の法線ベクトルが存在する平面（以下、法線ベクトル面という）である。照明装置2の各LED34の配列は $z$ 軸に垂直な面（ $x$ 軸に平行）上にある1/4円C1である。そして、各LED34の光軸 $M$ を $-z$ 軸方向に一樣に傾斜させることで、各LED34の光軸 $M$ は座標原点 $O$ を向きその光軸 $M$ で作られる曲面は前述の配列円C1を底面の円周とする円錐の側面を形成するように形成されている。

【0021】ガイドレール9は配列円C1と平行な1/4円C2を構成し、テレビカメラ3の光軸 $L$ は $+z$ 軸方向に所定角だけ傾斜させて、任意の位置において、光軸 $L$ が座標原点 $O$ を向き、その光軸 $L$ で作られる曲面は前述の円C2を底面の円周とする円錐の側面を形成するように形成されている。そして、図3に示すように、対象物の法線ベクトル $n$ 、テレビカメラ3の光軸 $L$ 、反射光がその光軸 $L$ 方向となる入射光線 $M$ は同一平面上（図3の紙面）にあって、入射光線 $M$ と法線ベクトル $n$ の成す角とテレビカメラ3の光軸 $L$ と法線ベクトル $n$ の成す角は共に $\delta$ で等しい。又、対象物1は座標系の原点 $O$ がその表面上に存在するように配置され、原点 $O$ の近傍領域が測定領域 $q$ となる。

【0022】テレビカメラ3は対象物1の表面に焦点が合わされており、ガイドレール9上を移動し、任意の位置で固定できるようになっている。その時、テレビカメラ3の光軸 $L$ は常に原点 $O$ を通る。そして、テレビカメラ3を固定した位置でテレビカメラ3の光軸 $L$ の法線ベクトル面 $P$ （ $xy$ 面）への射影の $x$ 軸との成す角 $\alpha$ （以下、単に、光軸の角度という）をガイドレール9上のテレビカメラ3の位置から読み取ることができるようにになっている。

【0023】図4に、対象物1の表面の面方向を求める方法を示す。 $\beta$ は対象物1の表面上での正反射によりテレビカメラ3に入射した反射光に対応する入射光線 $J$ の法線ベクトル面 $P$ への射影の $x$ 軸との成す角（以下、単に、入射光線の角度という）である。 $\gamma$ は対象物1の反射点における法線ベクトル面 $P$ 上に存在する法線ベクトル $n$ の $x$ 軸との成す角（以下、単に、法線ベクトルの角度という）である。この角度 $\gamma$ が求める反射点での面方位となる。角度 $\beta$ は照明装置2の各発光点の位置により一意的に決定される。角度 $\beta$ は後述する方法により演算される。この時、角度 $\gamma$ は次式により求められる。

【0024】

【数1】  $\gamma = (\alpha + \beta) / 2 \quad \cdots (1)$

【0025】次に、対象物1の反射点における入射光線 $J$ の角度 $\beta$ を求める方法に付いて説明する。図5に、照

明装置2の構成を示す。図5において、LED1からLED12はLEDで、それぞれのLEDのカソード側は端子Gに接続されている。R1,1からR1,12は抵抗で、それぞれの抵抗の端子の一方はLED1からLED12のアノードに、もう一方の端子は端子V1に接続されている。R2,1からR2,12は抵抗で、それぞれの一方の端子はLED1からLED12のアノードに、もう一方の端子は端子V2に接続されている。

【0026】抵抗R1,1からR1,12は、理想的にはその抵抗値が等比的に変化するものである。また、正順の抵抗R2,1からR2,12の抵抗値は、それぞれ、逆順の抵抗R1,1からR1,12の抵抗値に等しいものである。抵抗値が厳密に等比的に変化するような抵抗は入手が難しいので、ほぼ等比的に変化する抵抗として例えばE-12系列やE-24系列の抵抗を利用する。図6に、抵抗R1,1からR1,12およびR2,1からR2,12の抵抗値を示す。LED1からLED12のLEDの発光強度は、これらの抵抗値で決まるLEDの駆動電流の範囲で、駆動電流に比例するものとする。従って、抵抗R1,1からR1,12を用いた場合の各LEDの発光強度は等比級数的に増加し、抵抗R2,1からR2,12を用いた場合の各LEDの発光強度は等比級数的に減少する。

【0027】図7に、LED照明装置2の端子V1と端子G間に一定電圧Vを印加したとき(第1パターン)および端子V2と端子G間に一定電圧Vを印加したとき(第2パターン)のLEDの1軸方向の発光強度分布L1(i)およびL2(i)を示す。また、2つの発光強度L1(i)とL2(i)の比L1(i)/L2(i)を図8に示す。ここでiはLEDの識別番号で、i=1, 2, ..., 12がそれぞれLED1, LED2, ..., LED12に対応する。

【0028】i番目のLEDからの光が対象物1の面で正反射してテレビカメラ3に入射するとき、第1パターンおよび第2パターンの何れの場合も、光は同一の光路でテレビカメラ3に入射する。従って、対象物1の面での反射率をrとするとき、テレビカメラ3への入射光の強さは、第1パターンL1(i)に対しては $r \cdot L1(i)$ 、第2パターンL2(i)に対しては $r \cdot L2(i)$ となる。よって、テレビカメラ3への入射光強度の比は、 $\{r \cdot L1(i)\} / \{r \cdot L2(i)\}$ すなわちL1(i)/L2(i)であり、前述したi番目のLEDの発光強度の比L1(i)/L2(i)に等しい。

【0029】このように、テレビカメラ3への正反射光の強度比が分かれば、その反射光に対応する入射光を発光しているLEDの発光強度比が分かる。図8に示したように、LEDの発光強度比から、LEDの識別番号iが一意に決まるので、対象物1の面からの正反射光がどのLEDからの光なのか分かる。尚、LED素子毎のバラツキやLED発光面の汚れ等により、同一駆動電流における発光強度がLED毎に異なる場合には、発光強

度の分布特性は図9のようになる。しかし、この場合にも、LED毎の発光強度比は図10のようになり、図8と等しくなるために何ら問題がない。

【0030】このように、2つの強度パターンで対象物1を照射して、テレビカメラ3で撮像した反射点の強度比からテレビカメラ3で受光した光線を出したLEDを特定することができ、そのLEDの位置から入射光線Jの角度 $\beta$ を求めることができる。この $\beta$ が求められれば、上記(1)式により対象物1の反射点における法線ベクトルの角度 $\gamma$ を求めることができる。

【0031】尚、本方法によれば、一様な明るさで規格化する従来の方法に比べ、LEDを識別するための情報であるLEDの発光強度の比はL1(i)/L2(i)のLEDによる違いが大きくなる。即ち、LEDの発光強度の等比係数すなわち抵抗値の等比係数C(ただしC>1)とするとき、発光強度の比L1(i)/L2(i)

(i)の最小の変化は、従来方法ではC倍であるのに対し、本方法ではCの2乗倍となる。従って、本方法によれば、テレビカメラの雑音の影響を受けにくくなるので、ほぼ一様な面光源の反射光強度で規格化する従来方法に比べ、精度良く対応点が決定でき、面方向の検出精度が良くなる。

【0032】次に、図1の装置の動作を図11を参照して説明する。ステップ100において、テレビカメラ3を光軸Lの角度 $\alpha$ を0度となる位置に固定する。次に、ステップ102において、計算機7は照明駆動装置6に指令して、照明装置2により光を照射し、ステップ104で対象物1からの反射光をテレビカメラ3で検出する。次に、ステップ106で、テレビカメラ3で検出された反射光の強度が設定値以上か否かが判定され、その強度が設定値以上でない場合には、テレビカメラ3が0度の位置では反射光線を検出できないので、ステップ100に戻り、テレビカメラ3を光軸Lの角度 $\alpha$ を90度の位置に設定する。そして、ステップ102~106を繰り返し、反射光強度が設定値以上か否かが判定される。

【0033】反射光強度が設定値以上であれば、その位置で対象物1の面方位が測定できることを意味する。よって、ステップ108において、計算機7から照明駆動装置6を制御して照明装置2の端子V1とGの間に一定電圧Vを印加することによって、照明装置2を第1パターンAで発光させる。ステップ110で、このときの対象物1の画像をテレビカメラ3によって撮像し、ステップ112で、その画像データD1(x, y)を画像入力装置5によって計算機7に取り込み、画像Aとして記憶する。次に、ステップ114で、計算機7から照明駆動装置6を制御して照明装置2の端子V2とGの間に一定電圧Vを印加することによって、照明装置2を第2パターンBで発光させる。そして、ステップ116で、この時の対象物1の画像をテレビカメラ3によって撮像し、

ステップ118で、その画像データD2(x, y)を同じく計算機に取り込み、画像Bとして記憶する。

【0034】次に、ステップ120において、記憶した画像AB間で対応する画素の比をとることにより反射光強度比A/Bを算出し、各画素の値に反射光強度比A/Bを代入した画像A/Bとして記憶する。尚、画像データD1(x, y)およびD2(x, y)は、その画素値がテレビカメラ3への入射光強度の対数に比例するものである。これは、テレビカメラ3の出力値をあらかじめ校正したルックアップテーブルによって変換する処理によって簡単に実現可能である。画素値を入射光強度の対数に比例するように変換したのは、光強度の比を減算により求められるようにするためである。

【0035】画像データD1(x, y)およびD2(x, y)は、画素値がテレビカメラ3への入射光強度の対数に比例するので、 $D1(x, y) - D2(x, y)$ は $k \cdot \log(L1(i)/L2(i))$ となる。ここで、kは比例定数である。よって、 $D1(x, y) - D2(x, y)$ から各画素(x, y)について角度β(x, y)が求められる。但し、ここで求められるのは、対象物1、テレビカメラ3とLED照明装置2との位置関係で決まる角度測定範囲内の角度の画素である。また、画像データD1(x, y)およびD2(x, y)の何れかの画素値が所定の閾値以下である場合は、鏡面以外による反射光またはテレビカメラ3の雑音の可能性が強いので、無効データとして無視する。

【0036】角度βは、 $D1(x, y) - D2(x, y)$ の値から角度へのルックアップテーブルをあらかじめ作成しておき、このテーブルを引くことで求めることができる。このルックアップテーブルは、上述したように、対象物1、照明装置2の各LEDおよびテレビカメラ3の位置から幾何学的な計算で作成する方法の他、対象物1の位置に実際に色々な角度の面を置いて取り込んだ画像データをもとに作成する方法が考えられる。尚、角度βと各LEDの位置との関係は、対象物1の反射点、即ち、テレビカメラ3の画面上の位置に応じて変化する。画面上の座標毎に強度比と角度βとの関係を設定する必要がある。以上の処理により、入射光線の角度β(x, y)のデータが得られる。

【0037】次に、ステップ124において、その角度\* 40

$$\alpha 2 = \alpha 1 + (\beta 2 - \beta 1) = \alpha 1 + \Delta \beta \quad \dots (2)$$

【数3】

$$\alpha 3 = \alpha 2 + (\beta 2 - \beta 1) = \alpha 1 + 2 \Delta \beta \quad \dots (3)$$

【0042】この時の検出可能範囲は、次のようになる。

【数4】

$$(\alpha 1 + \beta 1) / 2 \leq \gamma \leq (\alpha 3 + \beta 2) / 2 \quad \dots (4)$$

変形して、

【数5】

$$(\alpha 1 + \beta 1) / 2 \leq \gamma \leq (\alpha 1 + \beta 2 + 2 \Delta \beta) / 2 \quad \dots (5)$$

【0043】一般に、テレビカメラ3の固定位置の数をnとすれば、検出可能範囲は次のようになる。

【数6】

\* βと、テレビカメラ3の光軸Lの角度αとから、(1)式により法線ベクトルの角度γ、即ち、面方位を求める。この操作により、テレビカメラ3で撮像した1画面の各画素における面方位γが求められ、対象物1の面方位分布を得ることができる。

【0038】上記のように、入射光線の角度βが0~90度である照明装置2に対して、テレビカメラ3の光軸Lの角度αを0度に設定することで、0~45度の面方位を検出でき、テレビカメラ3の光軸Lの角度αを90度に設定することで、45~90度の面方位を検出できる。従って、上記のように、テレビカメラ3を2つの位置に移動させて2つの測定をすれば、0~90度の範囲の面方位が検出可能となる。

【0039】なお、ガイドレール9は、必ずしも、任意の位置でテレビカメラ3を固定できるようにする必要はなく、上記の例であれば、光軸Lの角度αが0度と90度の2つの位置で固定できるものであれば良い。又、照明装置2の入射光線Lの角度βの範囲は、必ずしも、0~90度の範囲でなくとも良い。入射光線Lの角度βの範囲と、テレビカメラ3の光軸Lの角度αとの関係は、図12に示すような関係となる。

【0040】図12において、入射光線Lの角度βに関して、 $\beta 1 \leq \beta \leq \beta 2$ であり、 $\Delta \beta = \beta 2 - \beta 1$ 、テレビカメラ3が固定される位置における光軸の角度をα1、α2、α3とする。テレビカメラ3を角度α1の位置に固定した時、検出可能な面方位γ1は、 $(\alpha 1 + \beta 1) / 2 \leq \gamma 1 \leq (\alpha 1 + \beta 2) / 2$ である。テレビカメラ3を角度α2の位置に固定した時、検出可能な面方位γ2は、 $(\alpha 2 + \beta 1) / 2 \leq \gamma 2 \leq (\alpha 2 + \beta 2) / 2$ である。テレビカメラ3を角度α3の位置に固定した時、検出可能な面方位γ3は、 $(\alpha 3 + \beta 1) / 2 \leq \gamma 3 \leq (\alpha 3 + \beta 2) / 2$ である。

【0041】よって、検出可能な面方位γ1、γ2、γ3が連続範囲となるためには、 $\alpha 1 + \beta 2 = \alpha 2 + \beta 1$ 、 $\alpha 2 + \beta 2 = \alpha 3 + \beta 1$ が成立することである。よって、次式の角度にテレビカメラ3を角度Δβで等間隔に固定すれば、連続した範囲で面方位の検出が可能となる。

【数2】



11

$$(\alpha 1 + \beta 1) / 2 \leq r \leq (\alpha 1 + \beta 2 + n \Delta \beta) / 2 \quad \dots (6)$$

即ち、検出可能範囲は、 $n \Delta \beta / 2$ である。このように、照明装置2の光軸の角度範囲と、テレビカメラ3の固定位置との関係を決すれば良い。

【0044】上記実施例では、テレビカメラ3をガイドレール9上で移動可能としたが、図12に示すように、ガイドレール9の3箇所において、3つのテレビカメラ3を設置して、一度に対象物1を撮影するようにしても良い。この個数は任意である。又、照明装置2は円弧状にLEDを配列したもの他、図13に示すよう

10 に、直線状にLEDを配列したものでも良い。  
【0045】上記実施例では照明装置2を固定しているが、照明装置2を対象物1に対して相対的にスキャンすることにより、色々な方向を向いている面を検出することも可能である。本実施例では、照明装置2を構成するLEDの数を12とした。このLEDの数は、1つは必要な測定精度から、もう1つはテレビカメラ3のダイナミックレンジおよびS/Nの問題から決まる。即ち、LEDの数を12にした場合、テレビカメラ3の1つの固定位置において測定できる面方向の種類は最大12とな

20 る。従って、テレビカメラ3が2つの固定位置で設定可能であれば、24段階の範囲の面方位が決定可能である。  
【0046】このように実施例を用いれば、LEDの配置間隔を狭くして角度の分解能を向上させ、テレビカメラ3の撮像位置を複数位置に変化させることで、角度の検出範囲を拡大することができる。

【0047】上記実施例では、照明装置2は発光強度比の位置分布を持たせたものを用いたが、図14に示すように、円弧状の蛍光灯21の全面に赤色から紫色まで位置に応じて順次変化させた色フィルタ20を設けたもの

30 30 でも良い。この場合には、発光点の位置と発光波長とが一对一に対応しているため、テレビカメラ3で撮像した画像において画素毎にR、G、Bの3原色成分を検出することで、それらの値から入射光の角度 $\beta$ を求めることができる。  
【0048】又、図15に示すように、照明装置2のLED1～LED12の発光時間 $t_1 \sim t_n$ を発光位置に対して一对一に対応させて、照明装置2を駆動するようにしても良い。この場合には、テレビカメラ3で連続撮影を行い、各画素毎に明度値が所定値以上となるフレーム数を計測することで、各画素毎に照射時間を測定することができる。この照射時間から入射光線の角度 $\beta$ を決定することができる。

【0049】又、図16に示すように、照明装置2のLED1～LED12の発光周期 $t_1 \sim t_n$ を発光位置に対して一对一に対応させて、照明装置2を駆動するようにしても良い。この場合には、テレビカメラ3で連続撮影を行い、各画素毎に明度値が所定値以上となるフレーム数と明度値が所定値以下となるフレーム数を計測するこ

12

\* とで、各画素毎に照射周期を測定することができる。この照射周期から入射光線の角度 $\beta$ を決定することができる。

【0050】さらに、図17に示すように、照明装置2のLED1～LED12の発光デューティ比 $R_1 \sim R_n (=t_1/T \sim t_n/T)$ 、但し、 $T$ は1周期、を発光位置に対して一对一に対応させて、照明装置2を駆動するようにしても良い。この場合には、テレビカメラ3で1周期 $T$ 時間分の連続撮影を行い、各画素毎に明度値が所定値以上となるフレーム数を計測することで、各画素毎にデューティ比を測定することができる。このデューティ比から入射光線の角度 $\beta$ を決定することができる。

【0051】さらに、図18に示すように、照明装置2のLED1～LED12の発光タイミングを発光位置毎にずらして照射するように、照明装置2を駆動するようにしても良い。この場合には、テレビカメラ3で連続撮像を行い各画素毎に明度値が所定値以上になるフレームを検出することで照射タイミングを測定することができる。この照射タイミングから入射光線の角度 $\beta$ を決定することができる。

【0052】上記の波長、発光時間、発光周期、デューティ比、発光タイミングによる方法は、いずれも、対象物の面の反射率の不均一性や光源の発光強度の不均一性の影響を受けないので、面方位の測定精度が向上する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係る面方向検出装置を示した構成図。

【図2】照明装置とテレビカメラの配置関係を説明した説明図。

【図3】光源の光軸とテレビカメラの光軸と法線ベクトルとの関係を示した説明図。

【図4】テレビカメラの位置、入射光線、反射光線及び法線ベクトルとの相互関係を示した説明図。

【図5】照明装置の構成を示した回路図。

【図6】照明装置の各LEDに接続される抵抗の値を示した説明図。

【図7】照明装置の第1パターン及び第2パターンにおける発光強度の1軸方向の分布を示した特性図。

【図8】照明装置の第1パターン及び第2パターンにおける発光強度の比の1軸方向の分布を示した特性図。

【図9】照明装置のLEDの発光強度が不均一な場合の第1パターン及び第2パターンにおける発光強度の1軸方向の分布を示した特性図。

【図10】照明装置のLEDの発光強度が不均一な場合の第1パターン及び第2パターンにおける発光強度の比の1軸方向の分布を示した特性図。

【図11】本装置における測定手順を示したフローチャート。

【図12】検出可能範囲を連続して拡大するための照明

13

装置とテレビカメラの位置関係を示した説明図。

【図13】実施例装置の他の照明装置のLEDの配列方法を示した構成図。

【図14】他の実施例装置における照明装置の構造を示した構成図。

【図15】他の実施例における照明装置の駆動方法を説明したタイミングチャート。

【図16】他の実施例における照明装置の駆動方法を説明したタイミングチャート。

【図17】他の実施例における照明装置の駆動方法を説明したタイミングチャート。

\*

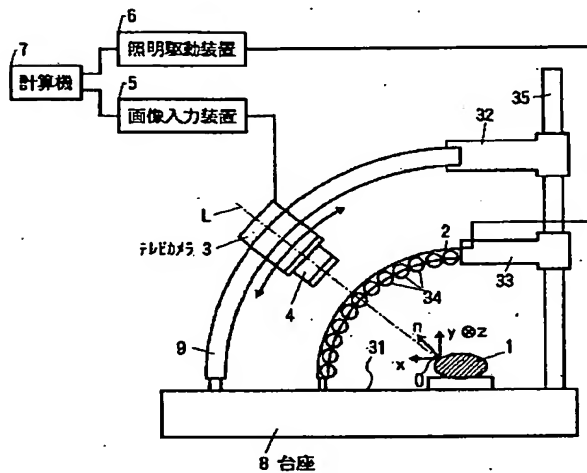
14

\* 【図18】他の実施例における照明装置の駆動方法を説明したタイミングチャート。

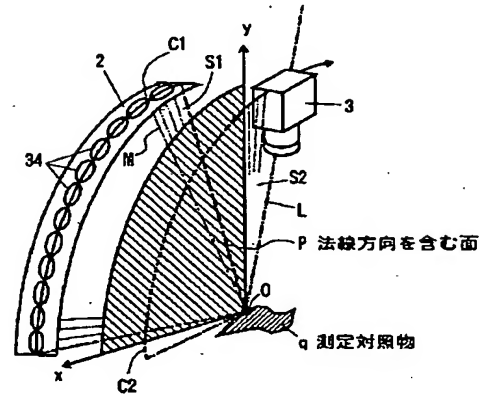
【符号の説明】

- 1…対象物
- 2…LED照明装置
- 3…テレビカメラ
- 4…レンズ
- 5…画像入力装置
- 6…照明駆動装置
- 7…計算機

【図1】

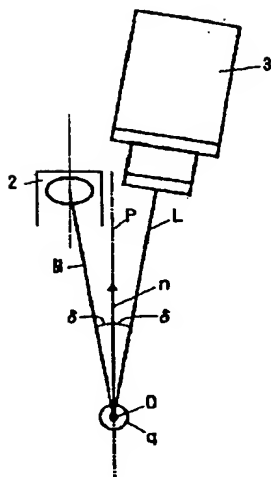


【図2】

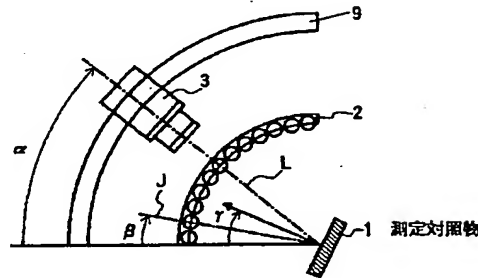


【図6】

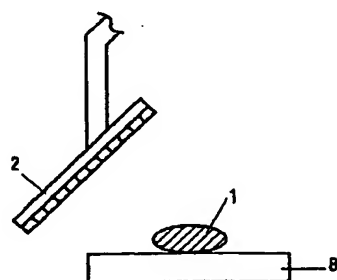
【図3】



【図4】

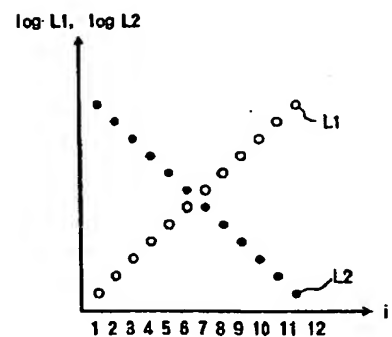


【図13】



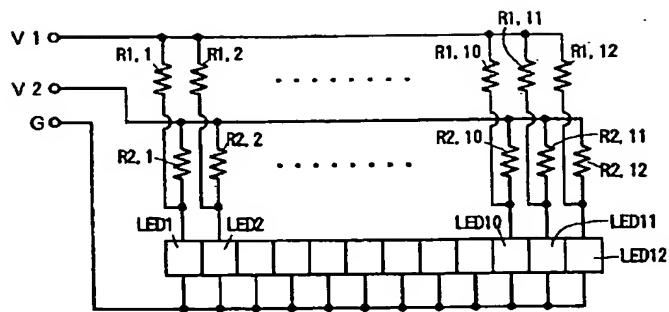
LED i	抵抗値 R1, i	抵抗値 R2, i
1	8.2 (kΩ)	1.0 (kΩ)
2	6.8	1.2
3	5.6	1.5
4	4.7	1.8
5	3.9	2.2
6	3.3	2.7
7	2.7	3.3
8	2.2	3.9
9	2.0	4.7
10	1.8	5.6
11	1.5	6.8
12	1.0	8.2

【図7】

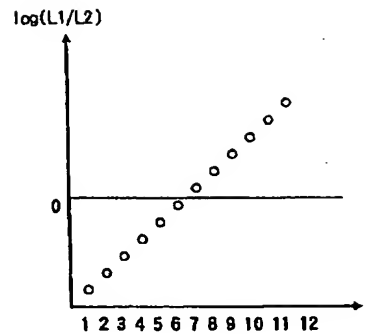




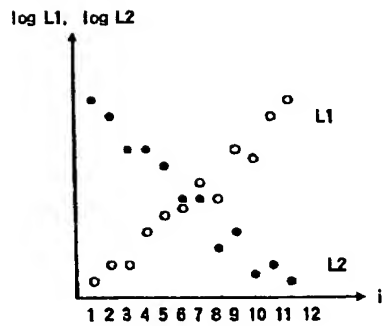
【図5】



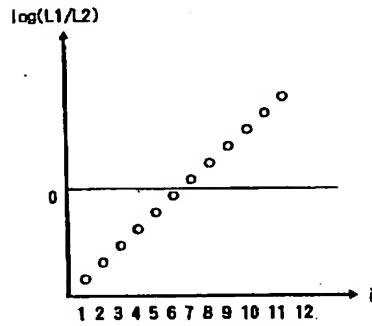
【図8】



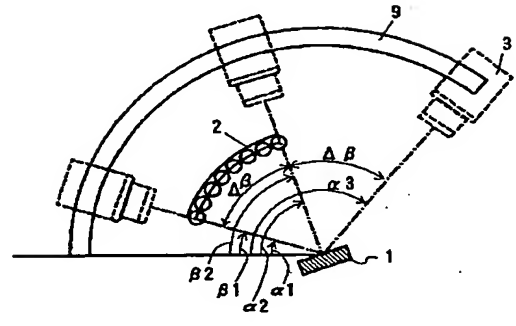
【図9】



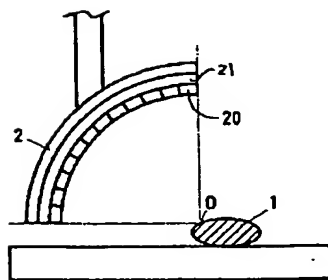
【図10】



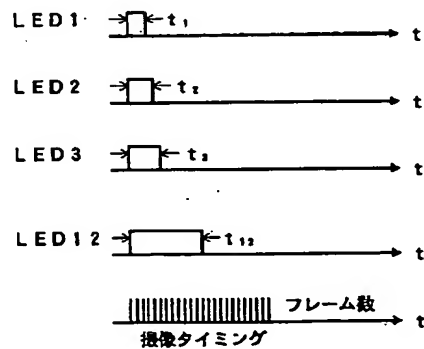
【図12】



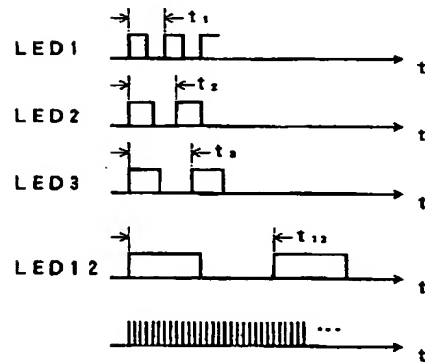
【図14】



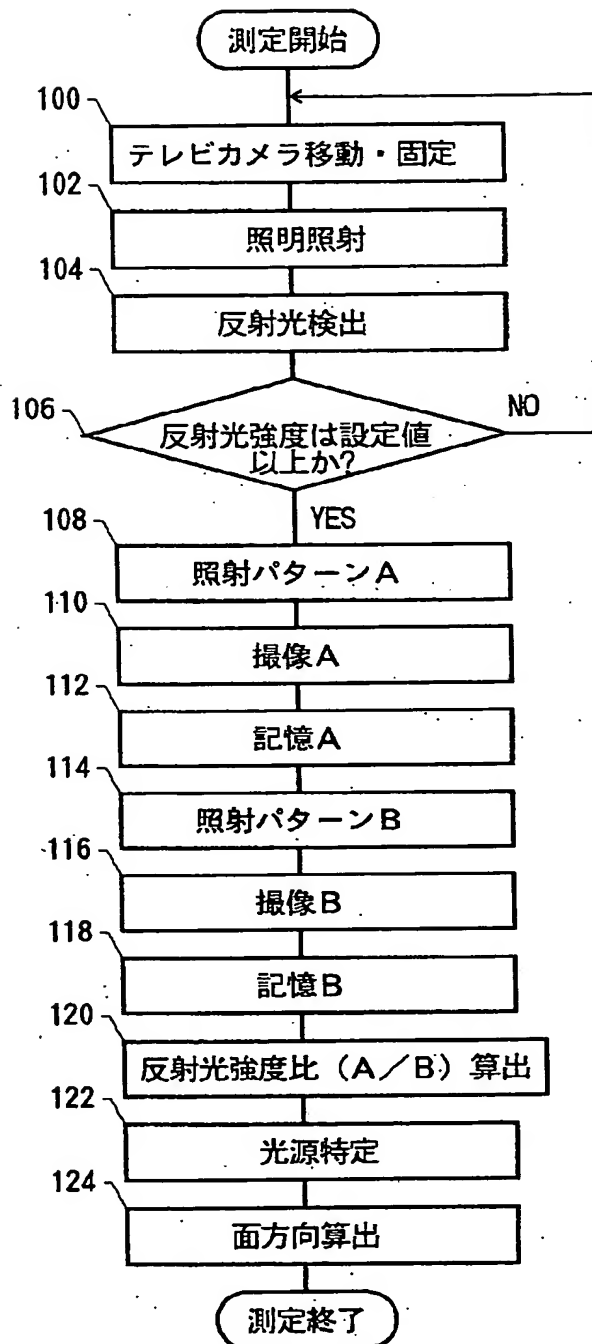
【図15】



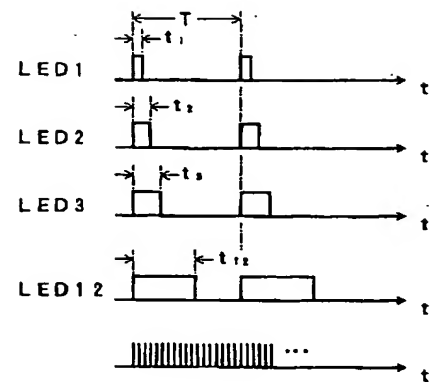
【図16】



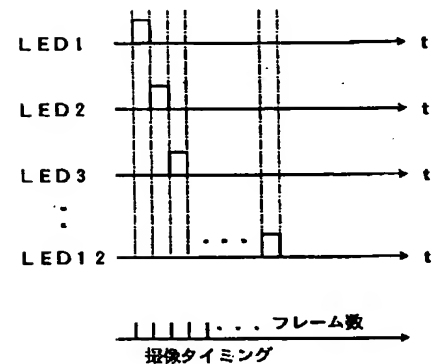
【図11】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72) 発明者 山田 啓一

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 山本 新

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内